20 | JavaScript编译器（一）：V8的解析和编译过程

2020-07-17 宫文学

编译原理实战课 进入课程 >

讲述：宫文学
时长 17:25 大小 15.96M

你好，我是宫文学。从这一讲开始，我们就进入另一个非常重要的编译器：V8 编译器。

V8 是谷歌公司在 2008 年推出的一款 JavaScript 编译器，它也可能是世界上使用最广泛的编译器。即使你不是编程人员，你每天也会运行很多次 V8，因为 JavaScript 是 Web 的语言，我们在电脑和手机上浏览的每个页面，几乎都会运行一点 JavaScript 脚本。

扩展：V8 这个词，原意是 8 缸的发动机，换算成排量，大约是 4.0 排量，属于相当强劲的发动机了。它的编译器，叫做 Ignition，是点火装置的意思。而它最新的 JIT 编译器，叫做 TurboFan，是涡轮风扇发动机的意思。

在浏览器诞生的早期，就开始支持 JavaScript 了。但在 V8 推出以后，它重新定义了 Web 应用可以胜任的工作。到今天，在浏览器里，我们可以运行很多高度复杂的应用，比如办

公套件等，这些都得益于以 V8 为代表的 JavaScript 引擎的进步。2008 年 V8 发布时，就已经比当时的竞争对手快 10 倍了；到目前，它的速度又已经提升了 10 倍以上。从中你可以看到，编译技术有多大的潜力可挖掘！

对 JavaScript 编译器来说，它最大的挑战就在于，当我们打开一个页面的时候，源代码的下载、解析（Parse）、编译（Compile）和执行，都要在很短的时间内完成，否则就会影响到用户的体验。

那么，V8 是如何做到既编译得快，又要运行得快的呢？所以接下来，我将会花两讲的时间，来带你一起剖析一下 V8 里面的编译技术。在这个过程中，你能了解到 V8 是如何完成前端解析、后端优化等功能的，它都有哪些突出的特点；另外，了解了 V8 的编译原理，对你以后编写更容易优化的程序，也会非常有好处。

今天这一讲，我们先来透彻了解一下 V8 的编译过程，以及每个编译阶段的工作原理，看看它跟我们已经了解的其他编译器相比，有什么不同。

初步了解 V8

首先，按照惯例，我们肯定要下载 V8 的源代码。按照官方文档中的步骤，你可以下载源代码，并在本地编译。注意，你最好把它编译成 Debug 模式，这样便于用调试工具去跟踪它的执行，所以你要使用下面的命令来进行编译。

```
1 tools/dev/gm.py x64.debug
```

复制代码

编译完毕以后，进入 v8/out/x64.debug 目录，你可以运行./d8，这就是编译好的 V8 的命令行工具。如果你用过 Node.js，那么 d8 的使用方法，其实跟它几乎是完全一样的，因为 Node.js 就封装了一个 V8 引擎。你还可以用 GDB 或 LLDB 工具来调试 d8，这样你就可以知道，它是怎么编译和运行 JavaScript 程序了。

而 v8/src 目录下的，就是 V8 的源代码了。V8 是用 C++ 编写的。你可以重点关注这几个目录中的代码，它们是与编译有关的功能，而别的代码主要是运行时功能：

目录名	含义
ast	各种AST节点的定义、作用域和变量
parsing	解析器，也就是把源代码变成Token（词法分析），再变成AST（语法分析）
compiler	编译器，把AST变成机器码，里面还有各种优化算法
deoptimizer	逆优化器，指放弃优化编译的代码，调到解释器去执行的功能。逆优化器要负责正确地还原解释器中的栈帧，以便让解释器能够正确地接着运行
heap	堆的管理机制，包括垃圾收集机制
ic	内联缓存（Inline caching）机制，这个机制会在下一讲中讲到

V8 的编译器的构成跟 Java 的编译器很像，它们都有从源代码编译到字节码的编译器，也都有解释器（叫 Ignition），也都有 JIT 编译器（叫 TurboFan）。你可以看下 V8 的编译过程的图例。在这个图中，你能注意到两个陌生的节点：**流处理节点（Stream）和预解析器（PreParser）**，这是 V8 编译过程中比较有特色的两个处理阶段。

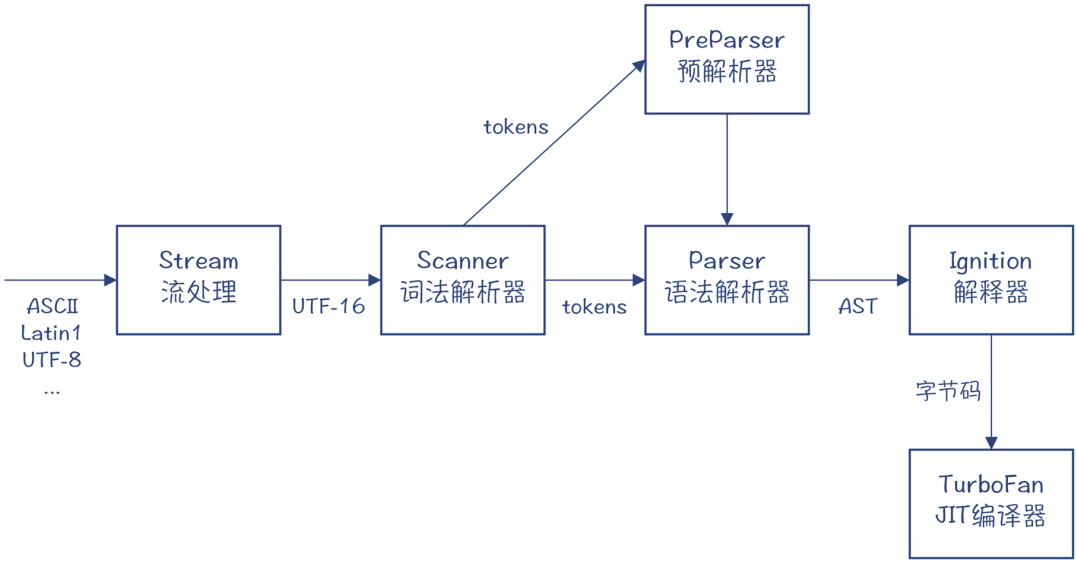


图 1：V8 的编译过程

注意：这是比较新的 V8 版本的架构。在更早的版本里，有时会用到两个 JIT 编译器，类似于 HotSpot 的 C1 和 C2，分别强调编译速度和优化效果。在更早的版本里，还没有字节码解释器。现在的架构，引入了字节码解释器，其速度够快，所以就取消了其中一级的 JIT 编译器。

下面我们就进入到 V8 编译过程中的各个阶段，去了解一些编译器的细节。

超级快的解析过程（词法分析和语法分析）

首先，我们来了解一下 V8 解析源代码的过程。我在开头就已经说过，V8 解析源代码的速度必须要非常快才行。源代码边下载边解析完毕，在这个过程中，用户几乎感觉不到停顿。**那它是如何实现的呢？**

有两篇文章就非常好地解释了 V8 解析速度快的原因。

一个是“optimizing the scanner”这篇文章，它解释了 V8 在词法分析上做的优化。V8 的作者们真是锱铢必较地在每一个可能优化的步骤上去做优化，他们所采用的技术很具备参考价值。

那我就按照我对这篇文章的理解，来给你解释一下 V8 解析速度快的原因吧：

第一个原因，是 **V8 的整个解析过程是流（Stream）化的**，也就是一边从网络下载源代码，一边解析。在下载后，各种不同的编码还被统一转化为 UTF-16 编码单位，这样词法解析器就不需要处理多种编码了。

第二个原因，是**识别标识符时所做的优化**，这也让 V8 的解析速度更快了一点。你应该知道，标识符的第一个字符（ID_START）只允许用字母、下划线和 $ 来表示，而之后的字符（ID_CONTINUE）还可以包括数字。所以，当词法解析器遇到一个字符的时候，我们首先要判断它是否是合法的 ID_START。

那么，这样一个逻辑，通常你会怎么写？我一般想也不想，肯定是这样的写法：

复制代码

```
if(ch >= 'A' && ch <= 'Z' || ch >='a' && ch<='z' || ch == '$' || ch == '_'){
    return true;
}
```

但你要注意这里的一个问题，**if 语句中的判断条件需要做多少个运算？**

最坏的情况下，要做 6 次比较运算和 3 次逻辑“或”运算。不过，V8 的作者们认为这太奢侈了。所以他们通过查表的方法，来识别每个 ASCII 字符是否是合法的标识符开头字符。

这相当于准备了一张大表，每个字符在里面对应一个位置，标明了该字符是否是合法的标识符开头字符。这是典型的牺牲空间来换效率的方法。虽然你在阅读代码的时候，会发现它调用了几层函数来实现这个功能，但这些函数其实是内联的，并且在编译优化以后，产生的指令要少很多，所以这个方法的性能更高。

第三个原因，是**如何从标识符中挑出关键字**。

与 Java 的编译器一样，JavaScript 的 Scanner，也是把标识符和关键字一起识别出来，然后再从中挑出关键字。所以，你可以认为这是一个最佳实践。那你应该也会想到，识别一个字符串是否是关键字的过程，使用的方法仍然是查表。查表用的技术是“**完美哈希（perfect hashing）**”，也就是每个关键字对应的哈希值都是不同的，不会发生碰撞。并且，计算哈希值只用了三个元素：前两个字符（ID_START、ID_CONTINUE），以及字符串的长度，不需要把每个字符都考虑进来，进一步降低了计算量。

文章里还有其他细节，比如通过缩窄对 Unicode 字符的处理范围来进行优化，等等。从中你能体会到 V8 的作者们在提升性能方面，无所不用其极的设计思路。

除了词法分析，在语法分析方面，V8 也做了很多的优化来保证高性能。其中，最重要的是“**懒解析**”技术（lazy parsing）。

一个页面中包含的代码，并不会马上被程序用到。如果在一开头就把它们全部解析成 AST 并编译成字节码，就会产生很多开销：占用了太多 CPU 时间；过早地占用内存；编译后的代码缓存到硬盘上，导致磁盘 IO 的时间很长，等等。

所以，所有浏览器中的 JavaScript 编译器，都采用了懒解析技术。在 V8 里，首先由预解析器，也就是 Preparser 粗略地解析一遍程序，在正式运行某个函数的时候，编译器才会按需解析这个函数。你要注意，Preparser 只检查语法的正确性，而基于上下文的检查则不是这个阶段的任务。你如果感兴趣的话，可以深入阅读一下这篇介绍 Preparser 的文章，我在这里就不重复了。

你可以在终端测试一下懒解析和完整解析的区别。针对 foo.js 示例程序，你输入“./d8 –ast-print foo.js”命令。

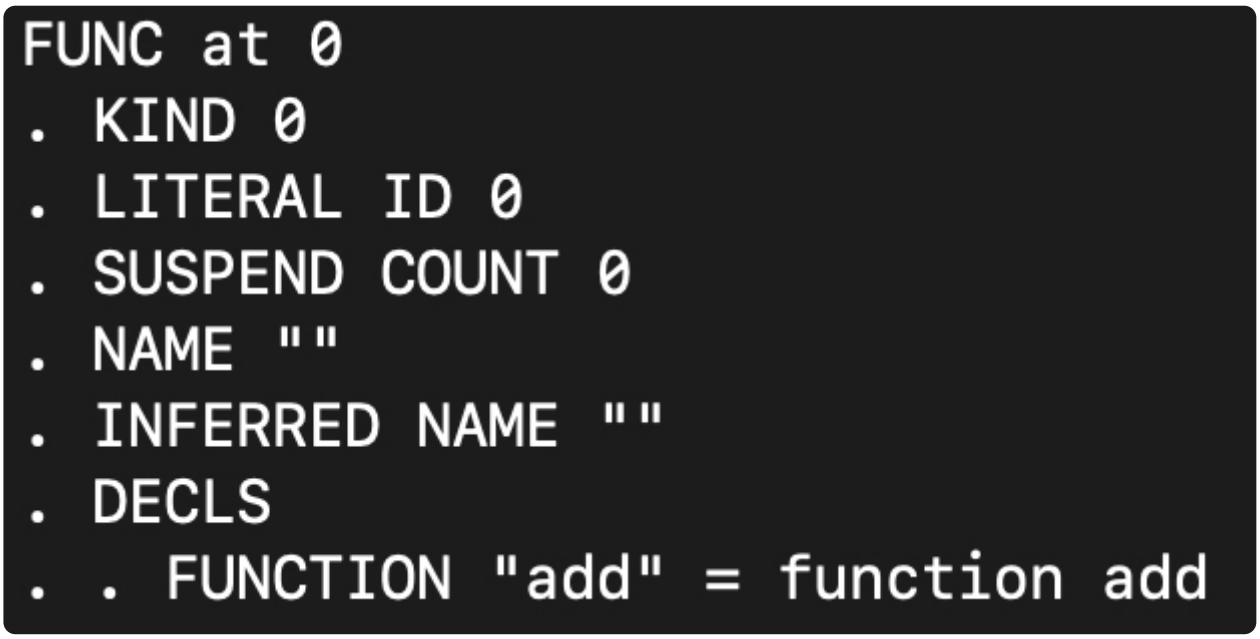
复制代码

```
1 function add(a,b){
```

```
    return a + b;
}

//add(1,2)    //一开始，先不调用add函数
```

得到的输出结果是：



里面有一个没有名字的函数（也就是程序的顶层函数），并且它记录了一个 add 函数的声明，仅此而已。你可以看到，Preparser 的解析结果确实够粗略。

而如果你把 foo.js 中最后一行的注释去掉，调用一下 add 函数，再次让 d8 运行一下 foo.js，就会输出完整解析后的 AST，你可以看看二者相差有多大：

```
→  x64.debug git:(8ef2f79968) ✗ ./d8 --print-ast foo.js
[generating bytecode for function: ]
--- AST ---
FUNC at 0
. KIND 0
. LITERAL ID 0
. SUSPEND COUNT 0
. NAME ""          <——— 主函数，没有名称
. INFERRED NAME ""
. DECLS
. . FUNCTION "add" = function add
. EXPRESSION STATEMENT at 40  <——— 表达式语句：add(1,2)
. . ASSIGN at -1
. . . VAR PROXY local[0] (0x7fc66c0135a0) (mode = TEMPORARY, assigned = true) ".result"
. . . CALL <——— 函数调用
. . . . VAR PROXY unallocated (0x7fc66c013480) (mode = VAR, assigned = true) "add"
. . . . LITERAL 1 <——— 参数，字面量
. . . . LITERAL 2 <———
. RETURN at -1
. . VAR PROXY local[0] (0x7fc66c0135a0) (mode = TEMPORARY, assigned = true) ".result"

[generating bytecode for function: add]
--- AST ---
FUNC at 12 <——— add函数
. KIND 0
. LITERAL ID 1
. SUSPEND COUNT 0
. NAME "add"
. PARAMS
. . VAR (0x7fc66c0134e8) (mode = VAR, assigned = false) "a"
. . VAR (0x7fc66c013590) (mode = VAR, assigned = false) "b"
. DECLS
. . VARIABLE (0x7fc66c0134e8) (mode = VAR, assigned = false) "a"
. . VARIABLE (0x7fc66c013590) (mode = VAR, assigned = false) "b"
. RETURN at 23
. . ADD at 32
. . . VAR PROXY parameter[0] (0x7fc66c0134e8) (mode = VAR, assigned = false) "a"
. . . VAR PROXY parameter[1] (0x7fc66c013590) (mode = VAR, assigned = false) "b"
```

最后，你可以去看看正式的 Parser（在 parser.h、parser-base.h、parser.cc 代码中）。学完了这么多编译器的实现机制以后，以你现在的经验，打开一看，你就能知道，这又是用手写的递归下降算法实现的。

在看算法的过程中，我一般第一个就会去看它是如何处理二元表达式的。因为二元表达式看上去很简单，但它需要解决一系列难题，包括左递归、优先级和结合性。

V8 的 Parser 中，对于二元表达式的处理，采取的也是一种很常见的算法：**操作符优先级解析器**（Operator-precedence parser）。这跟 Java 的 Parser 也很像，它本质上是自底向上的一个 LR(1) 算法。所以我们可以得出结论，在手写语法解析器的时候，遇到二元表达式，采用操作符优先级的方法，算是最佳实践了！

好了，现在我们了解了 V8 的解析过程，那 V8 是如何把 AST 编译成字节码和机器码并运行的呢？我们接着来看看它的编译过程。

编译成字节码

我们在执行刚才的 foo.js 文件时，加上“–print-bytecode”参数，就能打印出生成的字节码了。其中，add 函数的字节码如下：

```
[generated bytecode for function: add (0x280d0824fe29 <SharedFunctionInfo add>)]
Parameter count 3
Register count 0
Frame size 0
         0x280d0824ffd6 @    0 : 25 02             Ldar a1
         0x280d0824ffd8 @    2 : 34 03 00          Add a0, [0]
         0x280d0824ffdb @    5 : aa                Return
Constant pool (size = 0)
Handler Table (size = 0)
Source Position Table (size = 0)
```

怎么理解这几行字节码呢？我来给你解释一下：

Ldar a1：把参数 1 从寄存器加载到累加器（Ld=load，a=accumulator, r=register）。

Add a0, [0]：把参数 0 加到累加器上。

Return：返回（返回值在累加器上）。

不过，要想充分理解这几行简单的字节码，你还需要真正理解 Ignition 的设计。因为这些字节码是由 Ignition 来解释执行的。

Ignition 是一个基于寄存器的解释器。它把函数的参数、变量等保存在寄存器里。不过，这里的寄存器并不是物理寄存器，而是指栈帧中的一个位置。下面是一个示例的栈帧：

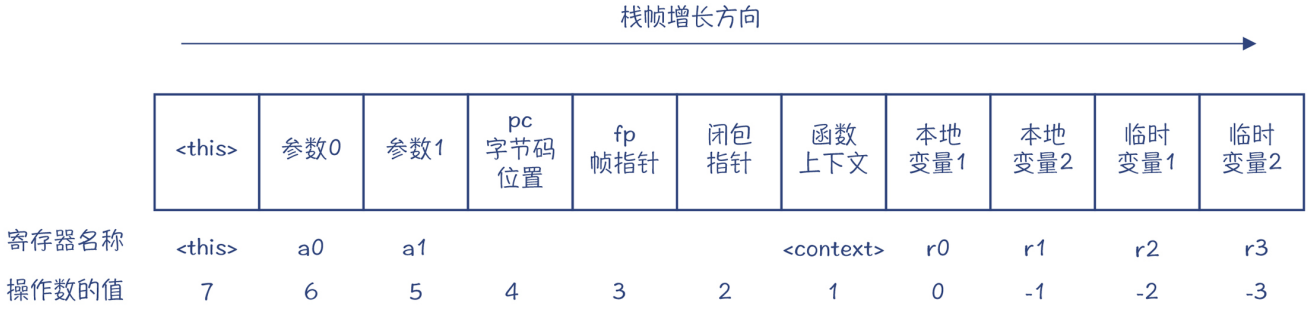


图 2：Ignition 的栈帧

这个栈帧里包含了执行函数所需要的所有信息：

参数和本地变量。

临时变量：它是在计算表达式的时候会用到的。比如，计算 2+3+4 的时候，就需要引入一个临时变量。

上下文：用来在函数闭包之间维护状态。

pc：调用者的代码地址。

栈帧里的 a0、a1、r0、r1 这些都是寄存器的名称，可以在指令里引用。而在字节码里，会用一个操作数的值代替。

整个栈帧的长度是在编译成字节码的时候就计算好了的。这就让 Ignition 的栈帧能适应不同架构对栈帧对齐的要求。比如 AMD64 架构的 CPU，它就要求栈帧是 16 位对齐的。

Ignition 也用到了一些物理寄存器，来提高运算的性能：

累加器：在做算术运算的时候，一定会用到累加器作为指令的其中一个操作数，所以它就不用在指令里体现了；指令里只要指定另一个操作数（寄存器）就行了。

字节码数组寄存器：指向当前正在解释执行的字节码数组开头的指针。

字节码偏移量寄存器：当前正在执行的指令，在字节码数组中的偏移量（与 pc 寄存器的作用一样）。

…

Ignition 是我们见到的第一个寄存器机，它跟我们之前见到的 Java 和 Python 的栈机有明显的不同。所以，你可以先思考一下，Ignition 会有什么特点呢？

我来给你总结一下吧。

1. 它在指令里会引用寄存器作为操作数，寄存器在进入函数时就被分配了存储位置，在函数运行时，栈帧的结构是不变的。而对比起来，栈机的指令从操作数栈里获取操作数，

操作数栈随着函数的执行会动态伸缩。

2. Ignition 还引入了累加器这个物理寄存器作为缺省的操作数。这样既降低了指令的长度，又能够加快执行速度。

当然，Ignition 没有像生成机器码那样，用一个寄存器分配算法，让本地变量、参数等也都尽量采用物理寄存器。这样做的原因，一方面是因为，寄存器分配算法会增加编译的时间；另一方面，这样不利于代码在解释器和 TurboFan 生成的机器代码之间来回切换（因为它要在调用约定之间做转换）。采用固定格式的栈帧，Ignition 就能够在从机器代码切换回来的时候，很容易地设置正确的解释器栈帧状态。

我把更多的字节码指令列在了下面，你可以仔细看一看 Ignition 都有哪些指令，从而加深对 Ignition 解释运行机制的理解。同时，你也可以跟我们已经学过的 Java 和 Python 的字节码做个对比。这样呀，你对字节码、解释器的了解就更丰富了。

Prefix Bytecodes
Wide
ExtraWide

Accumulator Load
LdaZero
LdaSmi
LdaUndefined
LdaNull
LdaTheHole
LdaTrue
LdaFalse
LdaConstant

Load/Store Globals
LdaGlobal
LdaGlobalInsideTypeof
StaGlobalSloppy
StaGlobalStrict

Context operations
PushContext
PopContext
LdaContextSlot
StaContextSlot

Unary Operators
Inc
Dec
LogicalNot
TypeOf
DeletePropertyStrict
DeletePropertySloppy

Control Flow
Jump
JumpConstant
JumpIfTrue
JumpIfTrueConstant
JumpIfFalse
JumpIfFalseConstant
JumpIfToBooleanTrue
JumpIfToBooleanTrueConstant
JumpIfToBooleanFalse
JumpIfToBooleanFalseConstant
JumpIfNull
JumpIfNullConstant
JumpIfUndefined
JumpIfUndefinedConstant
JumpIfNotHole
JumpIfNotHoleConstant

Load-Store lookup slots
LdaLookupSlot
LdaLookupSlotInsideTypeof
StaLookupSlotSloppy
StaLookupSlotStrict

Register Transfers
Ldar
Mov
Star

LoadIC operations
LoadIC
KeyedLoadIC

StoreIC operations
StoreICSloppy
StoreICStrict
KeyedStoreICSloppy
KeyedStoreICStrict

Binary Operators
Add
Sub
Mul
Div
Mod
BitwiseOr
BitwiseXor
BitwiseAnd
ShiftLeft
ShiftRight
ShiftRightLogical

For..in support
ForInPrepare
ForInDone
ForInNext
ForInStep

Stack guard check
StackCheck

Non-local flow control
Throw
ReThrow
Return

Illegal bytecode
Illegal

Calls
Call
TailCall
CallRuntime
CallRuntimeForPair
CallJSRuntime

Intrinsics
InvokeIntrinsic

New operator
New

Test Operators
TestEqual
TestNotEqual
TestEqualStrict
TestLessThan
TestGreaterThan
TestLessThanOrEqual
TestGreaterThanOrEqual
TestInstanceOf
TestIn

Cast operators
ToName
ToNumber
ToObject

Literals
CreateRegExpLiteral
CreateArrayLiteral
CreateObjectLiteral

Closure allocation
CreateClosure

Arguments allocation
CreateMappedArguments
CreateUnmappedArguments
CreateRestParameter

Debugger Support
DebugBreak0
DebugBreak1
DebugBreak2
DebugBreak3
DebugBreak4
DebugBreak5
DebugBreak6
DebugBreakWide
DebugBreakExtraWide

来源：Ignition Design Doc

编译成机器码

好，前面我提到了，V8 也有自己的 JIT 编译器，叫做 TurboFan。在学过 Java 的 JIT 编译器以后，你可以预期到，TurboFan 也会有一些跟 Java JIT 编译器类似的特性，比如它们都是把字节码编译生成机器码，都是针对热点代码才会启动即时编译的。那接下来，我们就来验证一下自己的想法，并一起来看看 TurboFan 的运行效果究竟如何。

我们来看一个示例程序 add.js：

复制代码

```
function add(a,b){
    return a+b;
}

for (i = 0; i<100000; i++){
    add(i, i+1);
    if (i%1000==0)
        console.log(i);
}
```

你可以用下面的命令，要求 V8 打印出优化过程、优化后的汇编代码、注释等信息。其中，“–turbo-filter=add”参数会告诉 V8，只优化 add 函数，否则的话，V8 会把 add 函数内联到外层函数中去。

复制代码

```
./d8 --trace-opt-verbose \
    --trace-turbo \
    --turbo-filter=add \
    --print-code \
    --print-opt-code \
    --code-comments \
    add.js
```

注释：你用./d8 --help，就能列出 V8 可以使用的各种选项及其说明，我把上面几个选项的含义解释一下。

–trace-opt-verbose：跟踪优化过程，并输出详细信息

–trace-turbo：跟踪 TurboFan 的运行过程

–print-code：打印生成的代码

–print-opt-code：打印优化的代码

–code-comment：在汇编代码里输出注释

程序一开头是解释执行的。在循环了 24000 次以后，V8 认为这是热点代码，于是启动了 Turbofan 做即时编译。

最后生成的汇编代码有好几十条指令。不过你可以看到，大部分指令是用于初始化栈帧，以及处理逆优化的情况。真正用于计算的指令，是下面几行指令：

```
70  4c8bc7          REX.W movq r8,rdi
73  41d1f8          sarl r8, 1
76  4c8bc9          REX.W movq r9,rcx
79  41d1f9          sarl r9, 1
7c  4503c1          addl r8,r9
```

对这些汇编代码的解读，以及这些指令的产生和优化过程，我会在下一讲继续给你讲解。

课程小结

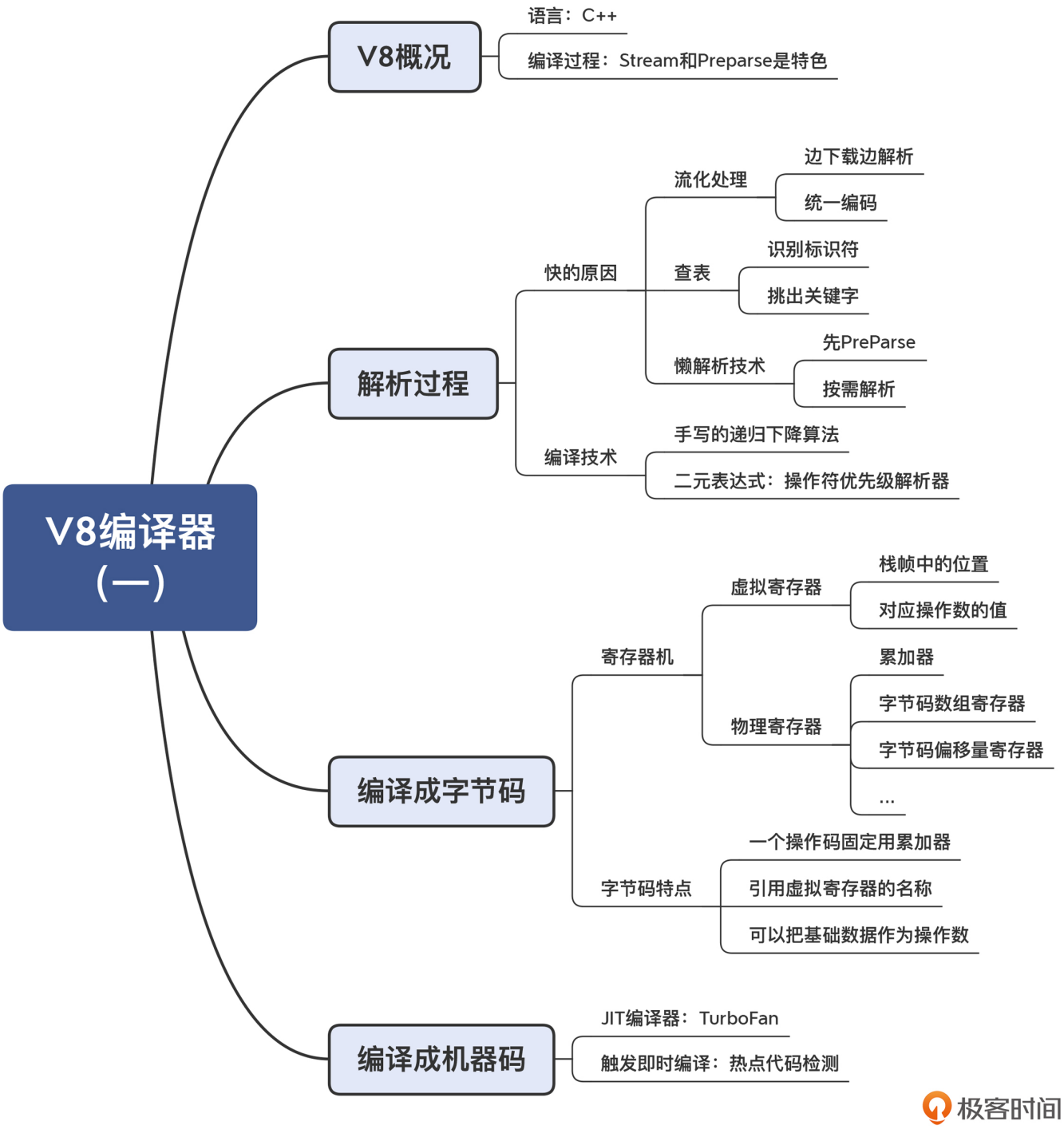
今天这讲，我们从总体上考察了 V8 的编译过程，我希望你记住几个要点：

首先，是**编译速度**。由于 JavaScript 是在浏览器下载完页面后马上编译并执行，它对编译速度有更高的要求。因此，V8 使用了一边下载一边编译的技术：懒解析技术。并且，在解析阶段，V8 也比其他编译器更加关注处理速度，你可以从中学到通过查表减少计算量的技术。

其次，我们认识了一种新的**解释器 Ignition**，它是基于寄存器的解释器，或者叫寄存器机。Ignition 比起栈机来，更有性能优势。

最后，我们初步使用了一下 V8 的**即时编译器 TurboFan**。在下一讲中，我们会更细致地探讨 TurboFan 的特性。

按照惯例，这一讲的思维导图我也给你整理出来了，供你参考：



一课一思

你能否把 Ignition 的字节码和 Java、Python 的字节码对比一下。看看它们有哪些共同之处，有哪些不同之处？

欢迎在留言区分享你的答案，也欢迎你把今天的内容分享给更多的朋友。

参考资料

1. 这两篇文章分析了 V8 的解析器为什么速度非常快：Blazingly fast parsing, part 1: optimizing the scanner，Blazingly fast parsing, part 2: lazy parsing
2. 这篇文章描述了 Ignition 的设计：Ignition Design Doc，我在 GitHub 上也放了一个拷贝
3. 这篇文章有助于你了解 Ignition 的字节码：Understanding V8’ s bytecode
4. V8 项目的官网，这里有一些重要的博客文章和文档

提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 19 | Python编译器（三）：运行时机制

下一篇 21 | JavaScript编译器（二）：V8的解释器和优化编译器

精选留言 (2)

写留言

sugar
2020-07-22

"Preparser 粗略地解析一遍程序，在正式运行某个函数的时候，编译器才会按需解析这个函数。"——是否可以理解为，v8的懒解析是以js中的函数为原子粒度的？是否存在对较大的语法块，比如switch、某个if的条件内逻辑非常庞大等部分单独作为懒解析呢？ 因为有可能说一个if判断条件很少为true，但内部代码行数达到几百行，一次性解析成AST比较浪费... 但如果按function的粒度，这种情况也都会被一次性完全解析成AST了

展开

sugar
2020-07-20

宫老师，想请教下在自己的c++项目中 如果想引入v8，对js source code作AST-parse，甚至单独抽出v8当中的某一些部分来做些事情，这方面是否有什么好的资料可以参考？在v8.dev官网似乎并没找到很详细的这方面的guidance，我经常遇到的就是很多头文件的依赖需要手动处理，毕竟v8本身的编译是基于ninja的，而自己的一些c++项目通常在mac本地会用xcode（v8项目中似乎有个可以build出.xcodeproj工程目录的选项，但我build...

展开